A SEGURANÇA DAS OBRAS NO BRASIL DISCUTIDA SOB DIFERENTES PONTOS DE VISTA. TRAGA O SEU.

1º CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

21 a 23 de maio de 2014 - Foz do Iguaçu - PR

ESTUDO SOBRE A DEGRADAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM CURITIBA

Medeiros, Marcelo H. F.[1], Valduga, Laila[2], Rheinheimer, Bianca[3], Hhoe, Sarah[4], Hoppe Filho, Juarez[5]

[1] Universidade Federal do Paraná, Professor Adjunto, Doutor, e-mail: medeiros.ufpr@gmail.com
[2] Universidade Federal do Paraná, Professora Adjunto, Doutora, e-mail: artigas@ufpr.br
[3] Universidade Federal do Paraná, Engenheira Civil, e-mail: bianca_rheinheimer@hotmail.com
[4] Universidade Federal do Paraná, Engenheira Civil, e-mail: darahkhoe@yahoo.com.br
[5] Universidade Federal do Oeste da Bahia, Professor Adjunto, Doutor, e-mail: juarez.hoppe@gmail.com

RESUMO

As estações de tratamento de esgoto são exemplos de estruturas submetidas a ambientes industriais de elevada agressividade. O presente trabalho está inserido neste contexto, com a avaliação do grau de contaminação do concreto de uma estrutura de tratamento de esgoto localizada em Curitiba. O objetivo do trabalho é mostrar a experiência obtida com o trabalho de inspeção do concreto exposto durante cerca de 15 anos a um ambiente agressivo, por processo de tratamento de águas de esgoto. O trabalho partiu da avaliação de um testemunho extraído de uma laje próxima a um tanque de tratamento (cerca de 40 cm de distância do efluente) e de uma amostra coletada manualmente na superfície do tanque com concreto desagregado. Estas amostras foram avaliadas empregando a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de dispersão de elétrons (EDS) e determinação da resistência à compressão axial. Os resultados indicam que o MEV e EDS são ferramentas importantes para o diagnóstico de casos em que o ataque por ácido sulfúrico biogênico seja uma possibilidade. Além disso, ficou evidente que o ataque na obra inspecionada é superficial e que avança em profundidade ao longo do tempo.

Palavras chave: concreto armado, patologia, durabilidade, tratamento de esgoto, ácido sulfúrico biogênico.

ABSTRACT

Sewage treatment plants are examples of structures subjected to highly aggressive industrial environments. This work is inserted in this context, assessing the degree of contamination of the concrete structure of a sewage treatment plant located in Curitiba. The aim of the work is to show the experience of the inspection of concrete exposed for about 15 years in an environment within the wastewater treatment process. The work was based on the evaluation of a specimen extracted from a slab near a treatment tank (about 40 cm away from the effluent) and a sample collected manually on the surface of the concrete inside the tank. These samples were evaluated using the technique of scanning electron microscopy (SEM), electron dispersive spectroscopy (EDS) and compressive strength. Results indicate that the SEM and EDS techniques are important tools for the diagnosis of cases in which the biogenic sulfuric acid attack is a possibility. Furthermore, it was evident that the attack on the inspected concrete occurs in the surface, advancing in depth over time.

Keywords: reinforced concrete, pathology, durability, sewage treatment, biogenic sulfuric acid.

1. INTRODUÇÃO

As estações de tratamento necessárias para o saneamento das cidades são compostas por tanques e outros elementos estruturais que geralmente são confeccionados de concreto armado. O efluente proveniente do esgoto é rico em sulfatos e isso gera um complexo meio de alta agressividade a uma estrutura de concreto armado.

Em todo o mundo, os sistemas de tratamento de águas servidas municipais estão expostos a degradação do concreto por ácido sulfúrico biogênico, que tende a comprometer a integridade das estruturas, necessitando de dispendiosos reparos e falhas prematuras da infraestrutura necessária ao tratamento de esgoto. Na Bélgica, por exemplo, este tipo de degradação representa um custo de 10% do total dos gastos com o tratamento de água de esgoto (VINCKE, 2002).

Desse modo, estudos focados em entender o mecanismo de degradação que envolve este ambiente agressivo ao concreto são importantes para o avanço da fronteira do conhecimento, oferecendo mais subsídios para o meio técnico produzir especificações de materias mais adequados e capazes de gerar estruturas com elevada durabilidade, apesar da alta agressividade que ocorre nas estações de tratamento de esgoto.

Este trabalho está focado na inspeção realizada em uma estação de tratamento de esgoto localizada na cidade de Curitiba, compreendendo uma avaliação mecânica e dos produtos formados provenientes da degradação do concreto nestas condições. A principal informação a ser produzida irá responder se o ataque por ácido sulfúrico biogênico, característico das estações de tratamento de esgoto, tende a degradar o concreto superficialmente, ou se o concreto é agredido como um todo.

2. ATAQUE POR ÁCIDO BIOGÊNICO

A degradação do concreto por ácido sulfúrico biogênico tem sido estudada desde 1945 quando Parker descobriu que este tipo de processo de degradação envolve a ação de bactérias (MONTEY et al., 2000).

Inicialmente acreditava-se que o mecanismo de degradação que ocorria no concreto exposto ao esgoto era um ataque por sulfatos. Contudo, foi verificado posteriormente que o mesmo ocorre por ácido sulfúrico. Existe uma grande diferença entre estes dois tipos de degradação (ATTIOGBE; RIZKALLA, 1988).

Existem dois aspectos importantes no caso do ataque por ácido sulfúrico biogênico: a ação do ataque ácido associado à reação com íons sulfato. Desse modo, o ataque por sulfato é apenas parte do mecanismo que ocorre na degradação por ácido sulfúrico biogênico, ou seja, este tipo de mecanismo é muito mais perigoso do que o simples ataque por sulfato. Além disso, estudos

mostram que concretos com elevada resistência ao ácido sulfúrico nem sempre são altamente resistentes à corrosão por ácido sulfúrico biogênico (MONTEY et al., 2000). É por isso que, apesar de muitos pesquisadores realizarem ensaios neste tipo de concreto submetendo-o ao ataque de ácido sulfúrico, existe uma corrente de estudiosos que prefere testar o concreto expondo-o a câmaras de simulação da ação microbiológica envolvida no processo.

O ataque por ácido sulfúrico biogênico é resultado do ciclo do enxofre, que ocorre nos sistemas de esgoto. Sob condições anaeróbicas, bactérias redutoras de sulfato produzem sulfeto de hidrogênio (H_2S) a partir de compostos de enxofre presentes no esgoto. Sendo emitido na forma de gás para a atmosfera do esgoto, o H_2S é convertido, sobre condições aeróbicas e sob a ação de bactérias, em ácido sulfúrico microbiológico. A reação do ácido sulfúrico com o concreto produz gipsita e etringita (MUYNCK et al., 2009).

São as bactérias denominadas Thiobacillusthioxidans e Thiobacillusconcretivorus, que oxidam compostos de enxofre (H_2S) presentes no esgoto e os transformam em ácido sulfúrico biogênico. Essas bactérias são aeróbicas e necessitam da presença de oxigênio e seus processos metabólicos ocasionam valores de pH do ácido sulfúrico biogênico em torno de 2, podendo alcançar valores ainda menores de 0,7 (PINTO E TAKAGI, 2007).

De modo geral, as manifestações patológicas não ficam localizadas na área de contato entre o concreto e o esgoto e sim na parte que não tem esse contato, como ilustrado na Figura 1.



(a) (b)

Figura 1: Esquema da ação da água de esgoto na degradação do concreto: (a) Esquema de ataque por ácido sulfúrico biogênico; (b) Caso real de parede de tanque de efluente de esgoto – área afetada sem contato direto com o efluente.

3. ESTUDOS NA ÁREA DE ATAQUE DO CONCRETO POR ÁGUA DE ESGOTO

O ataque por ácido sulfúrico biogênico é bastante complexo e, por isso, muitos pesquisadores tem tentado simular o ataque da forma que ocorre na realidade. Porém, o processo de degradação por ácido sulfúrico biogênico é sempre lento (entre 1 mm/ano e 5 mm/ano) e, por isso, seria necessário vários anos para investigar a diferença de durabilidade entre diferentes concretos nas condições reais (MORI et al., 1991).

Para amenizar este inconveniente, é possível criar as condições ótimas (temperatura e nutrientes) para as bactérias envolvidas no processo, condições estas que nem sempre estão presentes em casos reais. Com esta linha de raciocínio, Sand et al. (1992) propuseram uma câmara de simulação em que a velocidade de degradação é oito vezes maior do que a obtida in situ. O esquema desta câmara de ensaio encontra-se apresentado na Figura 2. Estes pesquisadores usaram corpos de prova prismáticos de 60 x 11 x 7 cm com a base imersa em solução até a altura de 10 cm. Esta água foi mantida com temperatura constante de 30 ^{o}C e pH de 7,0. O ambiente interno da câmara foi mantido em 30 ^{o}C de temperatura e umidade relativa de 100%. O Thiobacillus foi cultivado em um fermentador separado em que o enxofre foi usado como substrato para a bactéria. Os corpos de prova foram periodicamente aspergidos com uma solução da cultura de Thiobacillus.

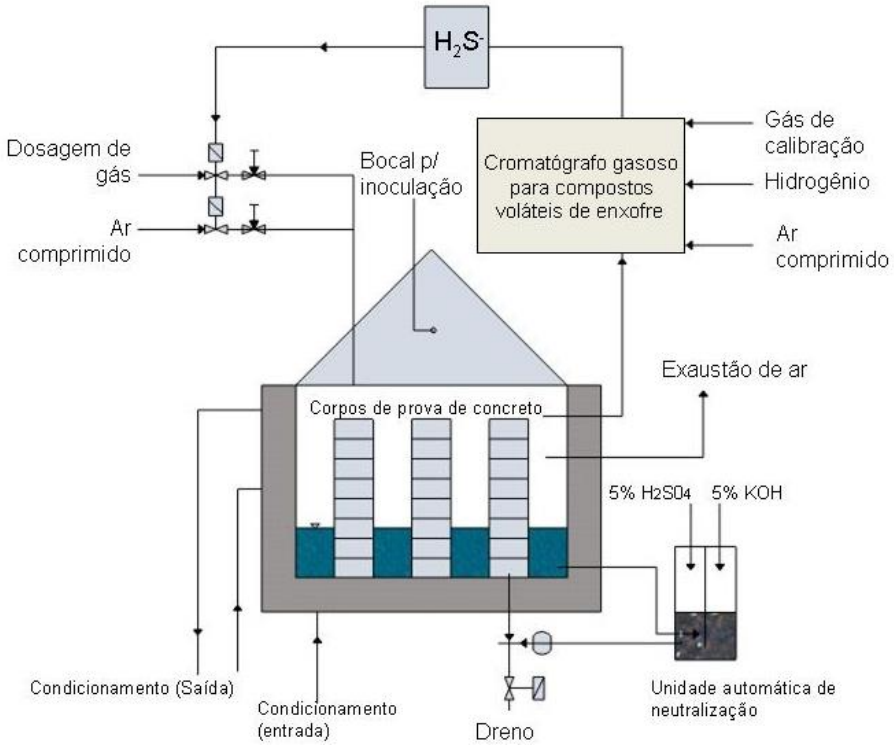


Figura 2: Câmara de simulação de ataque por água de esgoto (SAND et al., 1987).

Com o intuito de entender a forma e os locais de ocorrência das manifestações patológicas devido ao ataque pelo ácido sulfúrico biogênico, alguns pesquisadores decidiram comparar as condições de exposição que ocorrem em tubos de condução de esgoto com a exposição da câmara da Figura 2. Este tipo de teste consistiu em usar tubos de concreto com 15 cm de diâmetro e 20 m de comprimento preenchidos parcialmente com solução com concentração de H_2S de 25 a 300 ppmv e temperatura entre 12 e 30 ^oC. A Figura 3 ilustra o esquema do teste realizado.

Após 6 meses de análise, o material começou a se degradar logo acima do nível da solução agressiva. A taxa de degradação medida foi de 3,8±7,6 mm/ano.

A forma e o local de ocorrência da degradação foi bastante similar em ambos os casos (tubo e câmara) com o máximo de degradação ocorrendo logo acima do nível do esgoto (20 mm acima). Segundo Mori et al. (1992), isso ocorre porque esta é a região onde existe maior concentração de umidade e nutrientes. Acima desta região o nível de degradação diminui consideravelmente e o material totalmente imerso não apresenta degradação alguma.

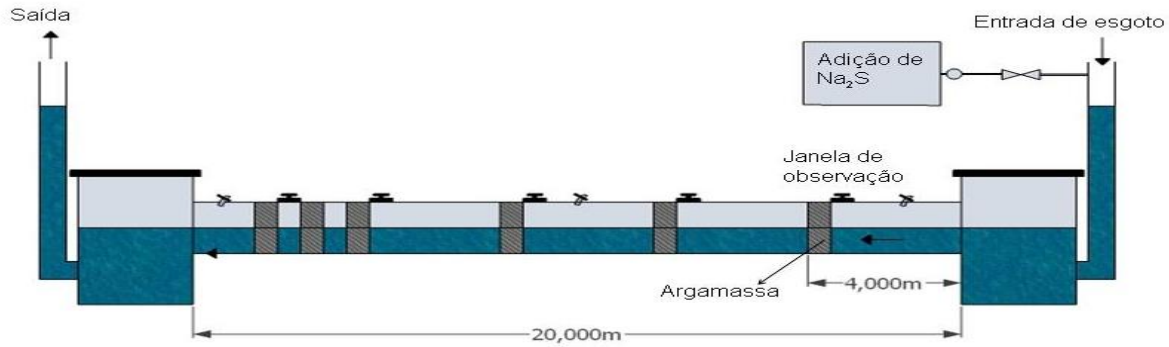


Figura 3: Câmara em forma de tubo para estudo do ataque por ácido sulfúrico biogênico (MORI et al., 1992).

Baseado nestas informações é notório que para atender as necessidades de funcionalidade e durabilidade é conveniente aplicar uma proteção de superfície no concreto. Se não for possível ou economicamente viável em toda a superfície de concreto em contato com a atmosfera do esgoto é interessante que seja protegida, pelo menos, a área submetida ao molhamento e secagem, bem como a toda superfície do concreto que não tenha contato direto com a água de esgoto, já que estas são as áreas mais afetadas pelo meio em questão (MEDEIROS et al., 2012).

Os estudos Muynck et al. (2009) indicam que o epoxy e a poliureia são opções de proteção de superfície eficientes para a redução dos efeitos da água de esgoto em peças de concreto armado. Porém, de acordo com Medeiros et al. (2012), no estágio de conhecimento atual, ainda não existem parâmetros limites de desempenho nos ensaios citados para que o concreto

ou sistema concreto+proteção sejam considerados eficientes em estruturas submetidas ao contato com o esgoto. Estudos mais aprofundados nessa área precisam ser desenvolvidos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na Estação de tratamento de esgoto Santa Quitéria pertencente a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Esta estação de tratamento tem cerca de 15 anos em operação e encontra-se com concreto em processo de desagregação superficial, apresentando-se como uma espécie de descamação, sendo possível sua remoção, com as mãos. A Figura 4 ilustra as áreas inspecionadas que ficaram concentradas em um reator UASB que estava desligado na época da coleta de amostras.



(a) (b)

Figura 4: Estação de tratamento de esgoto Santa Quitéria com área de concreto desagregado: (a) Parede do reator sem contato com o efluente; (b) Laje e viga também sem contato direto com o efluente.

Esta estação de tratamento de esgoto (ETE) foi projetada de acordo com a NBR 6118/1980 com fck de 22 MPa e cobrimento de 2,5 cm, valores acima do recomendado na época pela referida norma, que seria de 15 MPa para o concreto e 1,5 cm de cobrimento das armaduras. Atualmente, as ETE's da Sanepar estão sendo executadas a partir de projetos que especificam fck de 40 MPa e cobrimento de 4,5 cm.

4.1 Coleta de amostras

Foram coletadas amostras do material desagregado e solto na superfície da parede do tanque do reator de forma manual, como ilustrado na Figura 5 (a) e uma amostra (testemunho) transpassando a laje, conforme apresentado na Figura 5 (b).

A extração do testemunho foi executada de acordo com a NBR 7680/2007 com o emprego de uma extratora da marca Hilt e broca com ponta diamantada com 75 mm de diâmetro. O testemunho foi extraído de modo a transpassar uma laje que cobre parcialmente a região de bordo do tanque do reator como ilustrado na Figura 5 (b) e na Figura 4 (b).



(a) (b)

Figura 5: Coleta de amostras na Estação de tratamento de esgoto Santa Quitéria: (a) Coleta manual; (b) Extração de testemunho.

A degradação da superfície do concreto também fica bem evidenciada na Figura 6 que mostra o corpo de prova extraído. Nele é possível notar que nas duas faces do corpo de prova retirado da laje existe pasta desagregada e agregado graúdo exposto e, em alguns pontos, soltando.



(a) (b) (c)

Figura 6: Aspecto do testemunho extraído: (a) Visão geral; (b) Face superior da laje; (c) Face inferior da laje.

4.2 Ensaios realizados

Foi realizado ensaio de resistência à compressão no testemunho extraído para confrontar com a resistência de projeto da edificação. O testemunho tinha 73,5 mm de diâmetro e 104,3 mm de comprimento e teve seus topos cortados, sendo posteriormente capeado com pasta de enxofre para garantir a planicidade e o paralelismo das faces. O procedimento de ruptura

seguiu a NBR 5739/2007, empregando uma prensa da marca Emic com velocidade de carregamento de 0,5 MPa/s.

Foram realizados ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Dispersão de Elétrons (EDS) com o intuito de identificar fases cristalinas e obter informações dos compostos químicos formados. Foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura da marca JEOL, modelo JSM-6370 LV, como indicado na Figura 7.



Figura 7: Microscópio eletrônico de varredura do Laboratório de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal do Paraná.

Foram separadas 3 amostras para o ensaio no MEV, sendo uma da parede do tanque do reator e duas do testemunho extraído de uma laje do reator, sendo destas amostras removidas da superfície do testemunho e a outra da parte logo abaixo da superfície. A Figura 8 ilustra o local de coleta das duas amostras do testemunho.

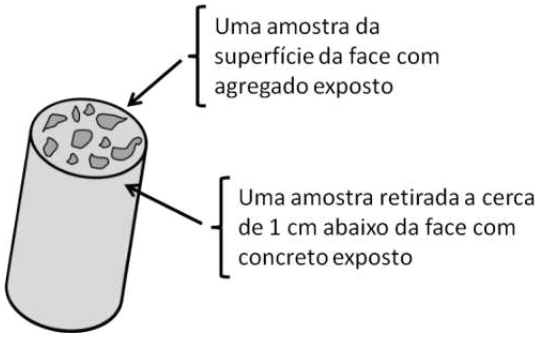


Figura 8: Localização das amostras retiradas para avaliação com MEV e EDS.

A preparação da amostra consistiu em colar as três amostras em uma base de metal (porta amostras) e numerá-las, como indicado na Figura 9. Não foi necessário metalizar as amostras com ouro, pois as imagens geradas estavam com uma resolução suficientemente boa. Além disso, sendo possível não metalizar é interessante porque o pico do ouro no EDS poderia atrapalhar a identificação do enxofre.



Figura 9: Amostras preparadas para análise por MEV e EDS: (a) Visão geral; (b) Vista superior.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resistência à compressão

O resultado de resistência à compressão realizado no testemunho extraído da ETE Santa Quitéria apresentou resistência à compressão de 42 MPa, apesar de o fck de projeto ter sido de 22 MPa. Este fato revela uma possível preocupação quanto à resistência necessária para concretos expostos à ambientes agressivos, que deve ter levado a adoção de um concreto mais resistente e menos poroso para a execução do tanque do reator. Como comprovado no estudo de Gutiérrez-Padilla et al. (2010), a redução da relação água/cimento e conseqüente elevação da resistência mecânica apresenta certa eficiência em atenuar o efeito do ataque por ácido sulfúrico biogênico.

Como mostrado na Figura 6, a degradação superficial é um fato visual, contudo a resistência tão acima do fck é um indício de que a degradação por ácido sulfúrico biogênico não afetou o concreto internamente.

5.2 MEV com EDS

Os resultados empregando a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) associada com a espectroscopia de dispersão de elétrons (EDS) estão representados nas Figuras 10, 11 e 12.

A Figura 10 mostra a imagem de MEV realizada a partir do exame de uma amostra de concreto desagregado coletado manualmente na superfície da parede do tanque da UASB. Nela estão indicados os três pontos escolhidos para a realização da análise química por EDS. Os locais da análise por EDS foram definidos em função de investigar os dois tipos morfológicos encontrados na imagem. Desse modo, os pontos 1 e 2 foram concentrados em duas formas de cristais semelhantes e o ponto 3 na segunda forma encontrada.

Os resultados indicam que os pontos 1 e 2 da Figura 10 apresentam grandes concentrações de cálcio e enxofre o que pode indicar indício de formação de gipsita ou etringita, característicos do tipo de degradação recorrente nas estações de tratamento de esgoto. O terceiro ponto apresentou composição claramente diferente com a predominância de sílica e alumínio.

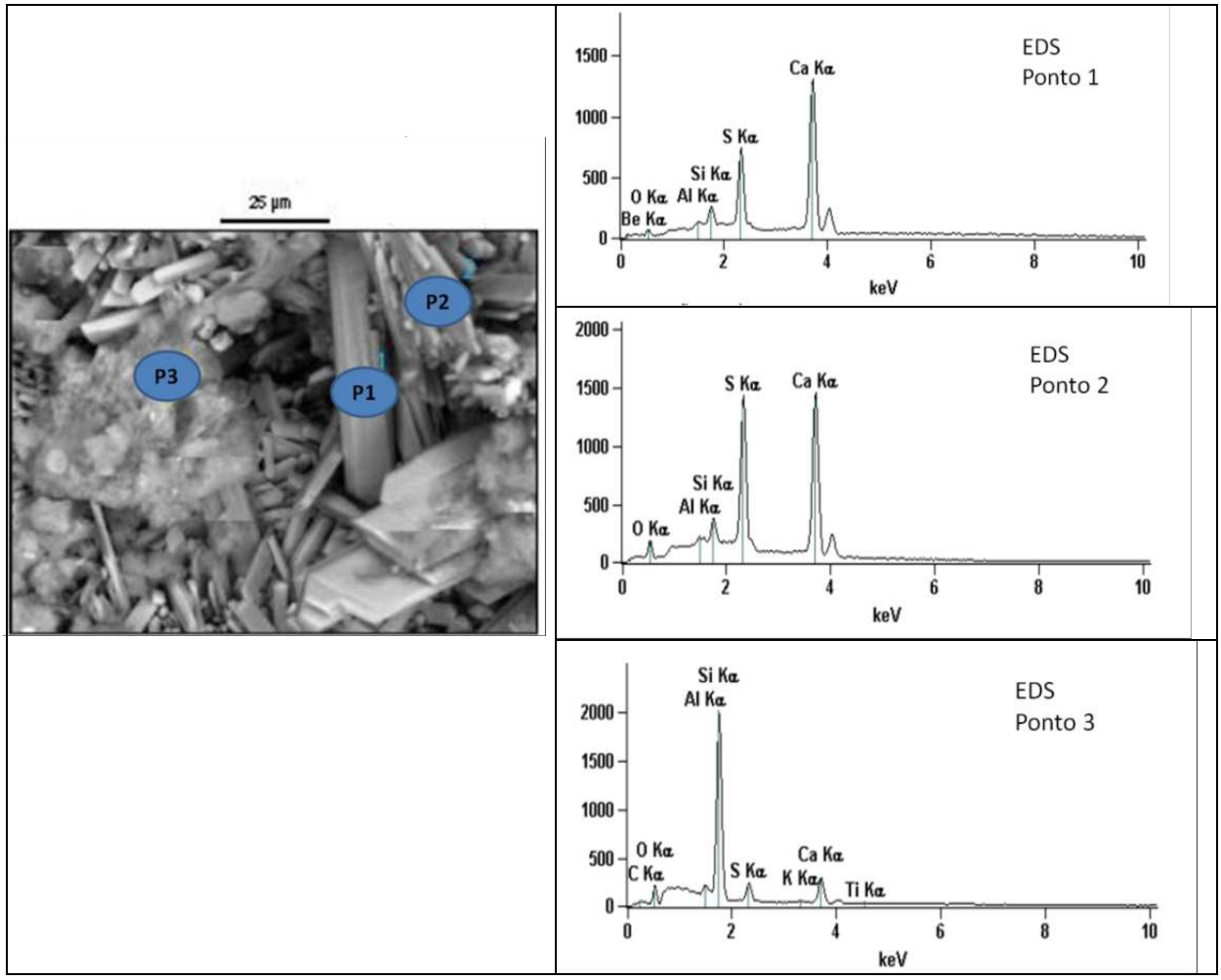


Figura 10: MEV e pontos de EDS de amostra da parede da UASB.

A Figura 11 mostra a imagem de MEV de uma amostra coletada mais internamente (1 cm de profundidade) ao testemunho que foi extraído da laje. Neste caso, a avaliação por EDS foi realizada em dois pontos de formação cristalográfica aparentemente diferentes.

O ensaio de EDS nos pontos 1 e 2 indicou picos principais de cálcio, potássio e silício, não sendo evidenciada a presença do enxofre, necessário para sustentar a possibilidade da ocorrência de gipsita e etringita, típicos de ataque por ácido sulfúrico biogênico. Desse modo, pode-se considerar que o ataque pela água do esgoto não afetou as camadas mais internas do concreto da ETE Santa Quitéria.

A Figura 12 mostra o resultado da microscopia e quatro pontos de EDS realizados em uma amostra coletada na superfície do testemunho extraído da laje. Em todos os pontos de EDS as resposta foram semelhantes entre si e também foram parecidas com as respostas dos pontos 1 e 2 da amostra de concreto desagregado coletado manualmente na superfície do tanque do reator (Figura 10). Em todos os casos, os pontos de semelhança são a forte presença de

enxofre e de cálcio, que podem ser considerados como indícios de formação de gipsita e/ou etringita, característicos do ataque de ácido sulfúrico biogênico típico de estações de tratamento de água de esgoto.

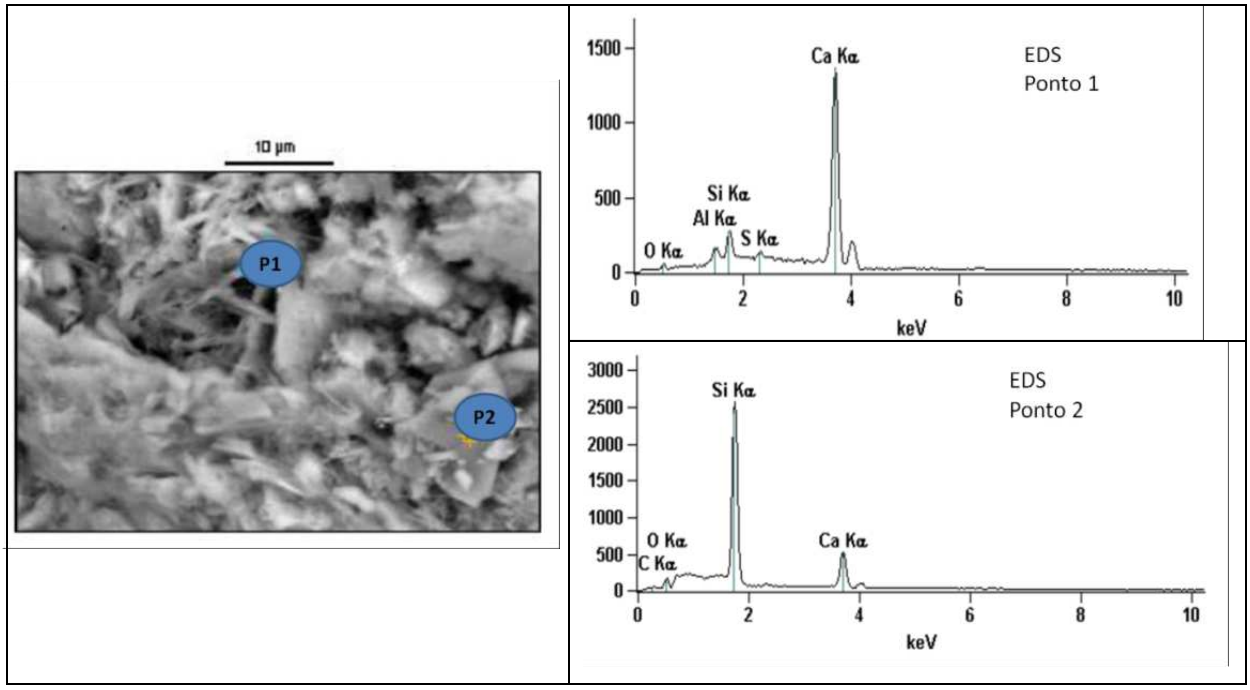
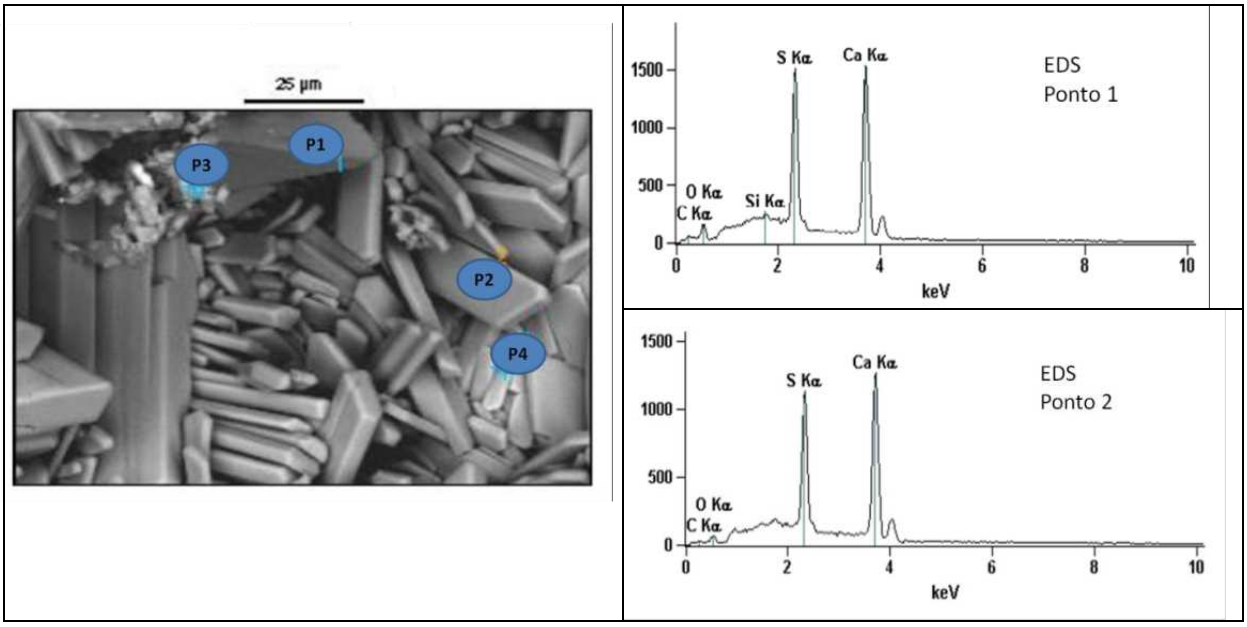


Figura 11: MEV e pontos de EDS de amostra do meio do testemunho da UASB.



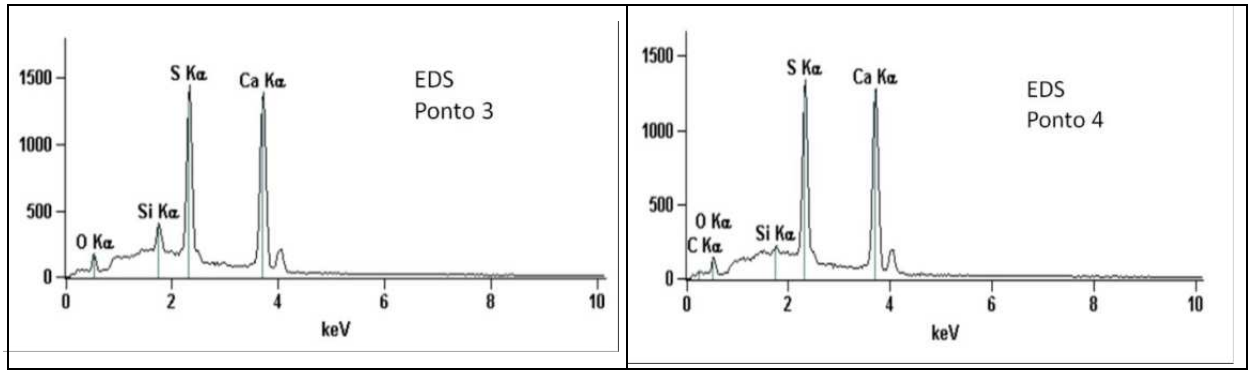


Figura 12: MEV e pontos de EDS de amostra da face do testemunho da UASB.

6. CONCLUSÕES

O trabalho de investigação desenvolvido na ETE Santa Quitéria possibilitou as constatações a seguir:

1. A degradação do concreto provocada pela ação do ambiente de um tanque de reator de tratamento de esgoto causa uma degradação superficial, que vai evoluindo de fora para dentro por meio de uma descamação progressiva do concreto. Enquanto a camada mais superficial não é agredida e descama, a degradação pela ação do esgoto parece não progredir.
2. Pelo panorama de descamação progressiva do concreto, pode-se concluir que neste estudo de caso em que o concreto com resistência acima de 40 MPa, e exposto por 15 anos na atmosfera agressiva do tanque do reator da ETE Santa Quitéria, não foi suficiente para resistir a ação do ataque por ácido sulfúrico biogênico. Esta constatação deve ser tomada como referência em futuras atualizações de normas nacionais que venham a servir como guia para especificação de concretos duráveis em ETEs. Deve-se enfatizar que a aplicação de sistemas de proteção de superfície no concreto também consiste em uma ferramenta importante para a obtenção da durabilidade adequada em casos como este.
3. O local de degradação por descamação progressiva do concreto se localizou na parte externa ao efluente, ou seja, no trecho da parede do tanque que trabalha continuamente adjacente ao líquido, sem contato direto com o esgoto. Esta constatação está de acordo com a observação anterior de Mori et al. (1992).
4. O emprego de técnicas auxiliares como a termogravimetria e a difração de raio X devem ser testadas como ferramentas de estudo em casos como este porque podem identificar os minerais formados, comprovando a formação de gipsita e etringita, por exemplo.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Concreto – Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. NBR 7680. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Projeto e execução de obras em concreto armado. NBR 6118. Rio de Janeiro, 1980.

ATTIOGBE, E.K.; RIZKALLA, S.H. Response of concrete to sulfuric acid attack. **ACI Materials Journal**, v. 84, n. 6, p. 481-488, 1988.

GUTIÉRREZ-PADILLA, M.G.D.; BIELEFELDT, A.; OVTCHINNIKOV, S.; HERNANDEZ, M.; SILVERSTEIN, J. Biogenic sulfuric acid attack on different types of commercially produced concrete sewer pipes. **Cement and Concrete Research**, v. 40, p. 293-301, 2010.

MONTENY, J.; VINCKE, E.; BEELDENS, A.; DE BELIE, N.; TAERWE, L.; VAN DEMERT, D. Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 30, p. 623-634, 2000.

MORI, T.; KOGA, M.; HOKOSAKA, Y.; NONAKA, T.; MISHINA, F.; SAKAI, Y.; KOIZUMI, J. Microbial corrosion of concrete sewer pipes, H_2S production from sediments and determination of corrosion rate. **Water Sci**, v. 23, p. 1275-1282, 1991.

MORI, T.; NONAKA, T.; TAZAKI, K.; KOGA, M.; HIKOSAKA, Y.; NODA, S. Interactions of nutrients, moisture and pH on microbial corrosion of concrete sewer pipes. **Water Research**, v. 26, n. 1, p. 29-37, 1992.

MUYNCK, W.; BELIE, N.; VERSTRAETE, W.Effectiveness of admixtures, surface treatments and antimicrobial compounds against biogenic sulfuric acid corrosion of concrete. **Cementand Concrete Composites**, v. 31, p. 163-170, 2009.

MEDEIROS, M.H.F.; AYALA, A.; ARNELLA, J.; HELENE, P.; MARTINESI, R.; MONTEIRO, E.C.B.; YUGOVICH, P. Capítulo XIV: Prevención de problemas patológicos em construcciones elementales existentes y nuevas. In: Red Prevenir. (Org.). Prevención de poblemas patológicos enestructuras de concreto. 1ed.Mérida: Colaboración Interamericana em Materiales (CIAM), 2012, v. único, p. 72-112.

PINTO, J.; TAKAGI, E. M. Sistemas de impermeabilização e proteção para obras de saneamento.**Concreto & Construções**, Ano XXXIV, n. 47, p. 73-79, 2007.

SAND, W.; DUMAS, T.; MARCDARGENT, S. Tests for biogenic sulfuric acid corrosion in a simulation chamber confirm the on site performance of calcium aluminate based concretes

in sewages. International Symposium on Microbiologically Influenced Corrosion (MIC) Testing. November, Miami, 1992, pp. 21.

SAND, W.; BOCK, E.; WHITE, D.C. Biotest system for rapid evaluation of concrete resistance to sulfur-oxidizing bacteria. **Materials Performance**, v. 26, n. 3, p. 14-17, 1987.

VINCKE, E. Biogenic sulfuric acid corrosion of concrete: microbial interaction, simulation and prevention. Tese (Doutorado), Universidade de Ghent, 2002.

WAFA, F.F. Accelerated sulfate attack on concrete in a hot climate. **Cement and Concrete Aggregates**, v. 16, n. 1, p. 31-35, 1994.